

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-260999

(43)Date of publication of application : 22.09.2000

(51)Int.Cl.

H01L 29/786

H01L 27/12

H01L 51/00

(21)Application number : 2000-050047

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH CORP
<IBM>

(22)Date of filing : 25.02.2000

(72)Inventor : CHONDROUDIS KONSTANTINOS
DIMITRAKOPOULOS CHRISTOS D
KAGAN CHERIE R
KYMISSIS IOANNIS
DAVID B MITSUI

(30)Priority

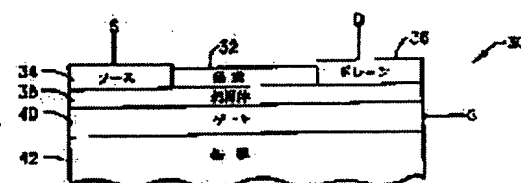
Priority number : 99 261515 Priority date : 03.03.1999 Priority country : US

(54) THIN-FILM TRANSISTOR HAVING ORGANIC/INORGANIC MATERIAL AS SEMICONDUCTOR CHANNEL

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an FET structure which uses an organic/inorganic by hybrid material as a semiconductor channel.

SOLUTION: This FET structure uses an organic/inorganic hybrid material 32 as a semiconductor channel between a source electrode 34 and a drain electrode 36 in a device. The organic/inorganic material has advantages of an inorganic crystalline solid and an organic material. The inorganic element forms an extended inorganic one-dimensional, two-dimensional or three-dimensional network, and provides a high carrier mobility for an inorganic crystalline solid. The organic element promotes self assembly of these materials and permits adhesion of the materials under conditions of simple low-temperature treatment such as spin coating, dipping coating, thermal vapor-deposition, etc. In addition, the organic element is used to adjust the electronic characteristics of inorganic skeleton, by defining the dimension of the inorganic element and the electronic bonding between inorganic units.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

25.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-260999
(P2000-260999A)

(43) 公開日 平成12年9月22日 (2000.9.22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 L 29/786		H 0 1 L 29/78	6 1 8 B
27/12		27/12	E
51/00		29/28	

審査請求 有 請求項の数11 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-50047 (P2000-50047)

(22) 出願日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

(31) 優先権主張番号 09/261515

(32) 優先日 平成11年3月3日 (1999.3.3)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシー
ズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSIN
ESS MACHINES CORPO
RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(74) 代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外1名)

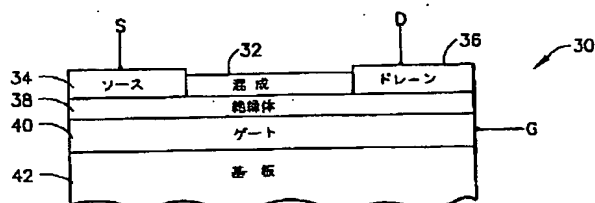
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体チャネルとして有機/無機混成材料を有する薄膜トランジスタ

(57) 【要約】

【課題】 半導体チャネルとして有機/無機混成材料を使用する改良型 F E T 構造を提供すること。

【解決手段】 本発明による F E T 構造は、デバイスのソース電極 34 とドレーン電極 36 の間に半導体チャネルとして有機/無機混成材料 32 を使用する。有機/無機材料は、無機の結晶性固体と有機材料の利点を兼ね備える。無機成分は拡張された無機の一次元、二次元または三次元ネットワークを形成して、無機の結晶性固体の高いキャリア移動度特性を提供する。有機成分はこれらの材料の自己アセンブリを促進し、スピン・コーティング、浸漬コーティング、熱蒸着などの簡単な低温処理条件で材料を付着できるようにする。また有機成分は、無機成分の次元および無機ユニット間の電子結合を定義することにより無機骨格の電子特性を調整するのにも使用される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】ソース領域およびドレーン領域と、半導体の有機／無機混成材料を含み、前記ソース領域と前記ドレーン領域の間を延びるチャネル層と、前記チャネル層に隣接して間隔をあけて配設されたゲート領域と、前記ゲート領域と前記ソース領域、前記ドレーン領域および前記チャネル層との間の電気絶縁層とを備える電界効果トランジスタ。

【請求項 2】前記ソース領域、前記チャネル層および前記ドレーン領域が基板の表面上に配設され、前記電気絶縁層が前記チャネル層の上に配設されて前記ソース領域から前記ドレーン領域に延び、前記ゲート領域が前記電気絶縁層の上に配設される、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 3】前記ゲート領域がゲート層として基板の表面上に配設され、前記電気絶縁層が前記ゲート層上に配設され、前記ソース領域、前記チャネル層および前記ドレーン領域が前記電気絶縁層上に配設される、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 4】前記有機／無機混成材料が分子レベルで混合された有機成分要素と無機成分要素から構成される材料であり、(i) 前記材料が各有機成分要素と各無機成分要素の比がほぼ一定であるという特徴を有し、(i i) 少なくとも 1 つの成分要素が半導体であり、(i i i) 有機成分要素と無機成分要素が、自己アセンブリして予測可能な配列にすることのできる力を有する、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 5】前記半導体の有機／無機混成材料が、ペロブスカイト結晶構造を有する無機成分要素を含む、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 6】前記半導体の有機／無機混成材料が、アルキルモノアンモニウム・カチオンを含む、請求項 5 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 7】前記半導体の有機／無機混成材料がヨウ化フェネチルアンモニウムスズである (PEA)₂SnI₄ である、請求項 5 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 8】前記半導体の有機／無機混成材料が、アルキルジアンモニウム・カチオンを含む、請求項 5 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 9】前記半導体の有機／無機混成材料が、半導体材料として BDASnI₄ (ヨウ化ブチルジアンモニウムスズ) である、請求項 8 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 10】前記電界効果トランジスタがフレキシブル材料の基板上に形成されている、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 11】前記電界効果トランジスタがプラスチック材料の基板上に形成されている、請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、薄膜電界効果トランジスタ構造に関し、さらに詳細には、内部の半導体チャネルとして有機／無機混成材料を使用するトランジスタ構造に関する。

【0002】

【従来の技術】TFTとして知られる薄膜トランジスタは、電子回路中で、特にアクティブ・マトリックス液晶ディスプレイなどの大面積の応用例で、スイッチング素子として広く使用されている。TFTは、電界効果トランジスタ (FET) の一例である。最もよく知られている FET は MOSFET (金属酸化膜半導体 FET) であって、高速電子応用例用の今日の通常のスイッチング素子である。MOSFET は特に SiO₂/バルク Si トランジスタのことを言うが、より一般的な金属-絶縁体-半導体の組合せが MISFET として知られている。TFT は、能動的半導体層が薄膜として付着された MISFET である。

【0003】現在、大部分の装置内の TFT は、アモルファス・シリコンを半導体として使用して作成されている。アモルファス・シリコンは、結晶シリコンの安価な代替物、すなわち大面積の応用例で使用されるトランジスタのコストを低減するための必要な条件を提供する。アモルファス・シリコンは、その移動度が $\sim 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ で、結晶シリコンの移動度の 1/5、000 分の 1 なので、その応用例は比較的低速の装置に限られる。アモルファス・シリコンの付着は結晶シリコンより安価であるが、アモルファス・シリコンの付着には、プラズマ強化化学的気相付着など高コストのプロセスが必要である。

【0004】最近、TFT 用の可能性ある半導体成分として有機半導体が注目を浴びている。例えば「Thin-Layer Field Effect Transistors With MIS Structure Whose Insulator and Semiconductor Are Made of Organic Materials」と題するガーニア (Garnier) 他のも米国特許第 5347144 号を参照のこと。有機材料 (例えば小分子 (small molecules)、短鎖オリゴマーおよびポリマー) は、溶液からのスピン・コーティングまたは浸漬コーティング、熱蒸着、スクリーン印刷などの方法による処理がより簡単であるので、TFT 構造用の無機材料のより安価な代替物となる。しかし、有機材料の移動度が改善されてきたものの、なお低く、アモルファス・シリコンに近い移動度を有するのは最良の材料だけである。

【0005】有機半導体は、従来のアモルファス・シリコンより安価であり、付着し易い。このような有機材料は、小分子 (例えばペンタセン、金属フタロシアニン)、短鎖オリゴマー (例えば $n = 3 \sim 8$ の n -チオフェン)、または長鎖ポリマー (例えばポリアルキルチオ

フェンまたはポリフェニレンビニレン)である。共役として知られている隣接する多重結合した原子間の原子軌道の重なり合いによって、分子、オリゴマーおよびポリマーに沿って電荷の移動が可能になる。隣接する分子間の分子軌道の重なり合いによって、分子間の電荷移動が可能になる。

【0006】小分子または短鎖オリゴマーの薄膜は、有機材料としては最も高い移動度を示す。このような高移動度を示す小分子または短鎖オリゴマーは、熱蒸着によって付着され、高度に規則的に配列された薄膜として付着される。この薄膜内の高度の規則配列は、軌道の重なり合い、したがって隣接する分子間の電荷の移動をもたらす。長鎖ポリマーは、可溶性が大きく、スピン・コーティングや浸漬コーティングなど低コストの技術で付着できるので有利であるが、配列がより不規則なので移動度はより低い。

【0007】有機材料は、熱蒸着、スピン・コーティング、浸漬コーティングなどのより安価で、容易な付着技術でTFT用の半導体を付着する可能性を開くが、それでもなお、移動度は所望の値より低い。典型的な移動度は、小分子/短鎖オリゴマーでは、 $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{V sec}$ であり、長鎖ポリマーでは、 $10^{-8} \sim 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{V sec}$ である。報告されている最も高い移動度は、ペンタセンの薄膜の $0.7 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ 、およびジヘキシル- α -セキシチオフェンの薄膜の $0.13 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ である。単結晶の α -セキシチオフェンで測定された $0.3 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ の移動度が、この材料の移動度の上限である。有機半導体の移動度はアモルファス・シリコンの移動度に匹敵する。

【0008】有機/無機混成材料は、有機成分要素と無機成分要素の有用な特性を単一材料内で兼ね備える明確なクラスの材料である。このクラスの材料のいくつかは、半導体特性を示す。この説明では、有機/無機混成材料は、分子レベルで混合された有機成分要素および無機成分要素から構成される材料であり、(i) その材料が各有機成分要素と各無機成分要素の比がほぼ一定であるという特徴を有し、(ii) 少なくとも1つの成分要素が半導体であり、(iii) 有機成分要素と無機成分要素が自己アセンブリして予測可能な配列にすることができる力を有するものである。

【0009】有機/無機混成材料の一例は、有機/無機ペロブスカイト構造の形態を取る。層状ペロブスカイトは、当然、頂点を共有する金属ハロゲン化物八面体の二次元半導体層と有機層が交互に重なった量子井戸構造を形成する。

【0010】このような有機/無機混成材料を作成するには、スピン・コーティング技術が適している。というのは、多数の有機/無機ペロブスカイトが通常の水性または有機溶媒中に可溶だからである。この方法を使用し

て、高品質で、高度に配向した層状ペロブスカイト薄膜が得られる。また真空蒸発技術を使用して、層状ペロブスカイトの膜を成長させる。同時係属の、「Single-Source Thermal Ablation Method for Depositing Organic-Inorganic Hybrid Films」という名称の米国特許出願第09/192130号(1998年11月13日出願)と「Two-Step Dipping Technique for the Preparation of Organic-Inorganic Perovskite Thin Films」という名称の米国特許第5871579号は、本出願と同じ譲受人に譲渡されており、有機/無機混成材料のための代替付着方法を記述している。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目的は、半導体チャネルとして有機/無機混成材料を使用する改良型FET構造を提供することである。

【0012】本発明の他の目的は、低コストで加工できる改良型FET構造を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明によるFET構造は、デバイスのソース電極とドレーン電極の間に半導体チャネルとして有機/無機混成材料を使用する。この有機/無機材料は、無機の結晶性固体と有機材料の利点を兼ね備える。無機成分要素は拡張された無機の一次元、二次元または三次元ネットワークを形成して、無機の結晶性固体の高いキャリア移動度特性を提供する。有機成分要素はこれらの材料の自己アセンブリを促進し、スピン・コーティング、浸漬コーティング、熱蒸着などの簡単な低温処理条件で材料を付着できるようにする。また有機成分要素は、無機成分要素の次元および無機ユニット間の電子結合を定義することにより無機フレームワークの電子特性を調整するのに使用される。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明は、薄膜FET内の半導体チャネルとして有機/無機混成材料を使用する。有機材料および無機材料の分子スケールの複合物を含む有機/無機混成材料は、アモルファス・シリコンより潜在的に高いキャリア移動度を提供するが、安価で簡単に付着できる。無機成分要素は結晶の無機半導体の高移動度特性を提供し、有機成分要素は溶液または気相からの材料の自己アセンブリに寄与する。スピン・コーティング、浸漬コーティングまたは熱蒸着の技術を含めていくつかの技術によって、有機/無機混成材料を付着することができる。有機半導体では、これらの方法は大面积の用途向けの低コストかつ大面积の付着の要件と整合する。またこれらの付着技術の低温処理条件により、フレキシブルな応用例のためにこれらの材料をプラスチック基板上に付着することが可能になる。一般に、有機半導体材料用に提唱されたすべての応用例で、有機/無機混成材料を代用することができる。加工しやすさに加えて、これらの材料の移動度が潜在的により高いため、アモルファス

・シリコンまたは有機半導体を用いて現在可能な速度より高速のデバイスにそれらの適用を拡張することができる。

【0015】本発明は、能動的半導体層として有機／無機混成材料を有する薄膜FETを備える。図1は、三次元ペロブスカイト構造である ABX_3 に基づく有機／無機混成材料10の一例を示す。ペロブスカイト構造は頂点を共有する BX_6 八面体12を含む。各八面体12は、頂点の6個のXアニオンおよび中心の1個のBカチオンによって定義される（結晶概略図18を参照）。Aカチオンは、八面体12の大きな格子間隙中に位置する。

【0016】ペロブスカイトの $\langle 100 \rangle$ または $\langle 110 \rangle$ 面に沿って、 n 層の厚い「カット」（ $n=1\sim$ 無限大）を行うことによって、三次元ペロブスカイト構造に基づく層状無機化合物を可視化することができる。有機／無機混成材料では、ペロブスカイト薄板のアニオン性無機 BX_6 八面体は、交互の層を形成しAカチオン格子間位置にあるカチオン性有機分子20によって電荷平衡が取られる。これらの材料の例には、 B =グループ14（IV族A）の遷移金属および希土類元素、 X =ハロゲン（Cl、BrまたはI）、および A =有機モノアンモニウムまたはジアンモニウム・カチオンが含まれる。アルキルモノアンモニウム・カチオンまたはアルキルジアンモニウム・カチオンのような有機モノアンモニウムまたはジアンモニウム・カチオンは、アルカンなどの脂肪族、または提供した例にあるような芳香族でよい。他の芳香族分子としては複素環式分子が含まれる。これらの有機分子は、やはり提供した例にあるような絶縁体、またはオリゴチオフェンなどの半導体でよい。

【0017】無機成分要素をなす無機ペロブスカイト薄板12および有機成分要素をなす有機層20は、強いイオン結合および水素結合によって結合される。イオン結合には、特有の化学量論量を有する有機／無機化合物および明確な結晶位置にある有機分子が必要である。有機層と無機層の間の結合により、これらの混成材料が結晶性薄膜として付着し、または単一結晶として成長する。

【0018】図2は、TFTデバイス構造内に付着された有機／無機混成材料のヨウ化フェネチルアンモニウムスズ $(PEA)_2SnI_4$ のX線回折パターンである。

（001）反射だけが存在することは、有機および無機薄板が半導体基板に平行（またはその構造の c 軸が垂直）になった配向性に優れた結晶薄膜として、その材料が付着することを実証している。

【0019】上述の有機／無機ペロブスカイトならびにその他の有機／無機混成材料は、無機の結晶半導体の利点と有機材料の利点を兼ね備える。無機成分要素は、拡張された無機の一次元、二次元または三次元ネットワークを形成して、無機の結晶性固体の高いキャリア移動度特性を潜在的に提供する。有機成分要素はこれらの材料

の自己アセンブリを促進する。これにより、スピン・コーティング、浸漬コーティング、熱蒸着などの簡単な低温処理条件で材料が付着できるようになる。有機成分要素はまた無機成分要素の次元および無機ユニット間の電子結合を定義することにより無機フレームワークの電子特性を調整するのに使用される。

【0020】図3は、典型的なTFTデバイス構造30の断面図を示す。TFT30は有機／無機混成材料層32を含む。層32は有機／無機ペロブスカイトであり、ソース電極34とドレーン電極36の間で半導体チャネルとして働く。X線回折で見られる材料の配向性は、二次元無機薄板12がソース電極34とドレーン電極36の間の電気的接続を提供するようなものである。有機／無機半導体のコンダクタンスは、 SiO_2 薄膜などの電気絶縁層38を横切って、（縮退ドーパされた $n+n$ シリコン層などの）ゲート電極40によって変調される。これらはすべて基板42によって支持される。

【0021】ソース電極34とドレーン電極36の金属付着の前または後に、有機／無機混成材料32を付着することができる。金属付着後に有機／無機混成材料32を付着すると、その材料がメタライゼーション中に、損傷を被る可能性がある高温への露出が低減される。

【0022】図3は典型的なFET構造の配列を示すが、本発明の範囲内で代替構造も企図される。代替FET構造のそれぞれの要素を示し、図3と同じ参照番号を付した図4を参照する。代替基板は、フレキシブルな装置を組み立てるために使用されるポリイミドやポリカーボネートなどのプラスチックを含む。このような配列では、パターン化された金属ゲート電極を、シャドー・マスクを介してまたはフォトリソグラフィによって基板上に付着する。その後、ゲート絶縁体を、それだけには限らないが、スピン・コーティング、化学的気相付着、スパッタリングまたは真空蒸着を含む様々な方法の1つによって付着する。その後、有機／無機混成材料、およびソース電極とドレーン電極を上述のように付着する。

【0023】有機／無機混成材料 $(PEA)_2SnI_4$ で作成されたTFTの所望の電界変調されたコンダクタンスおよび電流飽和度を示す予備データを図5に示す。測定したデバイスでは、厚さ5000Åの SiO_2 ゲート酸化物上に約100Åの $(PEA)_2SnI_4$ 層をアセトニトリルからスピン・コーティングした。半導体チャネルを、長さ70μm、幅1500μmのAu電極によって画定した。一般に、Au、Pd、Ptなど仕事関数の高い金属が、この有機／無機混成材料に対する「良好な」オーム接点を形成する。 $(PEA)_2SnI_4$ は、半導体層中で正孔を移動させるので、「p-タイプ」材料である。半導体チャネル（ID）中を流れる電流が負のゲート・バイアス（ V_g ）およびソース・ドレーン電圧（ V_{DS} ）と共に増加するので、このことは明白である。図6は、能動的半導体材料として有機／無機混成材料

(PEA)₂SnI₄を備え、これまでに得られた最良の特性を示すTFETのI_{DS}とV_{DS}の関係をプロットしたグラフである。

【0024】図7は、能動的半導体材料としてアルキルジアンモニウム・カチオンを含有する有機／無機混成材料（すなわち、BDASnI₄（ヨウ化ブチルジアンモニウムスズ））を有するTFETのI_{DS}とV_{DS}の関係をプロットしたグラフである。

【0025】0.06～0.25 cm²/V secの移動度は予想される真性値より低い、既にアモルファス・シリコンおよび最良の有機半導体の移動度に匹敵する。具体的には、これらの移動度はスピン・コーティングされた有機半導体より高い。このようなより高い真性移動度が達成可能であると予想される。電界効果移動度は測定されていないが、ホール効果移動度に関する報告では、その範囲が約1～100 cm²/V secである。ホール移動度と電界効果移動度の関係は複雑であるが、極めて簡単な理論では、それらは比例すると予想される。したがって、これらの高いホール効果移動度は、アモルファス・シリコンの移動度を超える同様に高い電界効果移動度が達成できることを示唆している。有機／無機混成材料は、高移動度が期待できるのに加えて、無機固体に関する通常の処理技術より安価な処理技術によって付着することができる。その技術には、スピン・コーティング、浸漬コーティングおよび熱蒸着が含まれる。

【0026】ペロブスカイト構造を有する有機／無機混成材料層を形成する1つの方法として、上記米国特許第5871579号に示された方法を使用することができる。例えば、ヨウ化ブチルジアンモニウムスズおよびヨウ化フェネチルアンモニウムスズは、SnI₂フィルムを有機ヨウ化アンモニウム溶液に浸漬することによって、以下のように形成できる。

【0027】真空室を使用して、SnI₂膜の真空蒸着を行った。SnI₂粉末を石英るつば内に装入し、上記室内に置き、系を約4×10⁻⁷ Torrのベース圧力に減圧した後に蒸着を開始した。ヨウ化金属が蒸発し、室温に保持された基板上に付着し、付着中に約1×10⁻⁶ Torrの圧力を達成した。典型的には、この付着中に付着速度を60～70 Å/minの範囲に保持した。

【0028】浸漬によって上記膜を調製するために、選択した時間の間、SnI₂薄膜を所望の有機ヨウ化アンモニウムを含有する溶液に浸した。これにより、PbI₂をペロブスカイト化合物に転化させる反応が生じる。

【0029】ヨウ化ブチルジアンモニウムスズ：SnI₂膜をまず、体積比1：16（1：16，v/v）の2-プロパノール／トルエンに溶かした70 mM（ミリモル）のヨウ化ブチルアンモニウムの溶液中に2秒間浸し、その後トルエンですすぎ洗い、不透明な赤褐色の膜

を得た。これは、366 nmの携帯用ライトから励起させると僅かに橙色の光を発した。

【0030】ヨウ化フェネチルアンモニウムスズ：SnI₂膜をまず、2-プロパノール／トルエン（体積比1：16）に溶かした中のヨウ化フェネチルアンモニウムの飽和溶液中に3秒間浸漬し、その後それを溶液から取り出して、窒素雰囲気中で乾燥させることにより、ヨウ化フェネチルアンモニウムスズの膜を調製した。この手順を2回繰り返し、その結果得られた膜をヨウ化フェネチルアンモニウムの不在下で同じ混合溶媒ですすぎ洗った。その結果得られた膜は、赤褐色であり透明でなかった。

【0031】化学的性質によって有機／無機混成材料の電子特性を調整することができる。有機／無機混成材料として使用可能な広範囲の有機および無機成分がある。この応用例の唯一の要件は、有機成分と無機成分の一方または両方が半導体であることである。化学的性質、結晶構造、無機成分の次元、ならびに有機成分の長さや化学的官能性を選択することによって、所望の特性を有する材料を設計することができる。有機／無機混成材料の化学的性質のフレキシビリティを使用して、相補型論理回路に望ましいn型およびp型の移動材料、および常時オンのTFETまたは常時オフのTFETを作成することができる。

【0032】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0033】（1）ソース領域およびドレーン領域と、半導体の有機／無機混成材料を含み、前記ソース領域と前記ドレーン領域の間を延びるチャネル層と、前記チャネル層に隣接して間隔をあけて配設されたゲート領域と、前記ゲート領域と前記ソース領域、前記ドレーン領域および前記チャネル層との間の電気絶縁層とを備える電界効果トランジスタ。

（2）前記ソース領域、前記チャネル層および前記ドレーン領域が基板の表面上に配設され、前記電気絶縁層が前記チャネル層の上に配設されて前記ソース領域から前記ドレーン領域に延び、前記ゲート領域が前記電気絶縁層の上に配設される、上記（1）に記載の電界効果トランジスタ。

（3）前記ゲート領域がゲート層として基板の表面上に配設され、前記電気絶縁層が前記ゲート層上に配設され、前記ソース領域、前記チャネル層および前記ドレーン領域が前記電気絶縁層上に配設される、上記（1）に記載の電界効果トランジスタ。

（4）前記有機／無機混成材料が分子レベルで混合された有機成分要素と無機成分要素から構成される材料であり、（i）前記材料が各有機成分要素と各無機成分要素の比がほぼ一定であるという特徴を有し、（ii）少なくとも1つの成分要素が半導体であり、（iii）有機成分要素と無機成分要素が、自己アセンブリして予測可

能な配列にすることのできる力を有する、上記(1)に記載の電界効果トランジスタ。

(5) 前記半導体の有機/無機混成材料が、ペロブスカイト結晶構造を有する無機成分要素を含む、上記(1)に記載の電界効果トランジスタ。

(6) 前記半導体の有機/無機混成材料が、アルキルアンモニウム・カチオンを含む、上記(5)に記載の電界効果トランジスタ。

(7) 前記半導体の有機/無機混成材料がヨウ化フェネチルアンモニウムスズである $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ である、上記(5)に記載の電界効果トランジスタ。

(8) 前記半導体の有機/無機混成材料が、アルキルジアンモニウム・カチオンを含む、上記(5)に記載の電界効果トランジスタ。

(9) 前記半導体の有機/無機混成材料が、半導体材料として BDASnI_4 (ヨウ化ブチルジアンモニウムスズ) である、上記(8)に記載の電界効果トランジスタ。

(10) 前記電界効果トランジスタがフレキシブル材料の基板上に形成されている、上記(1)に記載の電界効果トランジスタ。

(11) 前記電界効果トランジスタがプラスチック材料の基板上に形成されている、上記(1)に記載の電界効果トランジスタ。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この場合はペロブスカイト構造に基づく、有機/無機混成材料の一例の構造を示す図である。

【図2】 TFTデバイス構造内にスピン・コーティングによって付着されたヨウ化フェネチルアンモニウムスズ

($\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ 膜のX線回折パターンを示す図である。

【図3】 半導体チャネルとして有機/無機混成材料を組み込んだ第1のTFT構造の断面図である。

【図4】 半導体チャネルとして有機/無機混成材料を組み込んだ第2のTFT構造の断面図である。

【図5】 能動的半導体材料として有機/無機混成材料($\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ を有するTFTの I_{DS} と V_{DS} の関係を示すグラフである。

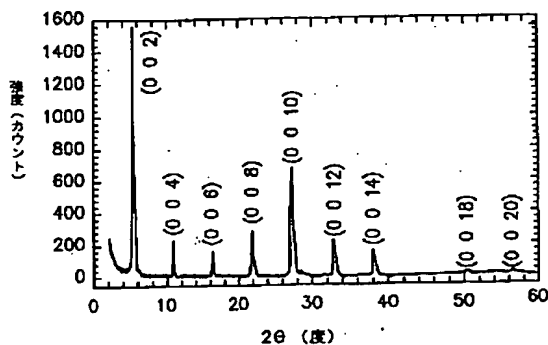
【図6】 能動的半導体材料として有機/無機混成材料($\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ を有し、これまでに得られた最良の特性を示すTFTの I_{DS} と V_{DS} の関係を示すグラフである。

【図7】 能動的半導体材料としてアルキルジアンモニウム・カチオン(すなわち、 BDASnI_4 (ヨウ化ブチル・ジアンモニウムスズ))を含有する有機/無機混成材料を有するTFTの I_{DS} と V_{DS} の関係を示すグラフである。

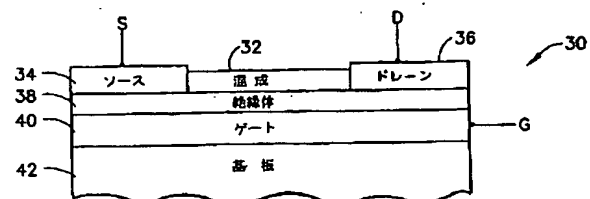
【符号の説明】

- 10 有機/無機混成材料
- 12 BX_6 八面体
- 20 カチオンの有機分子
- 30 TFTデバイス構造
- 32 有機/無機混成材料層
- 34 ソース電極
- 36 ドレイン電極
- 38 電気絶縁層
- 40 ゲート電極
- 42 基板

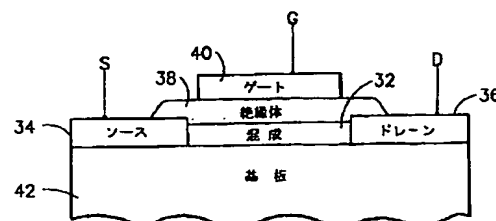
【図2】



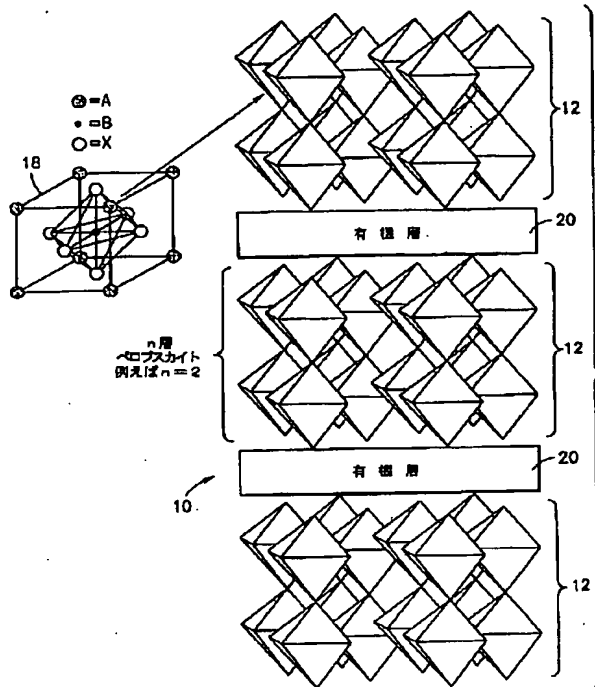
【図3】



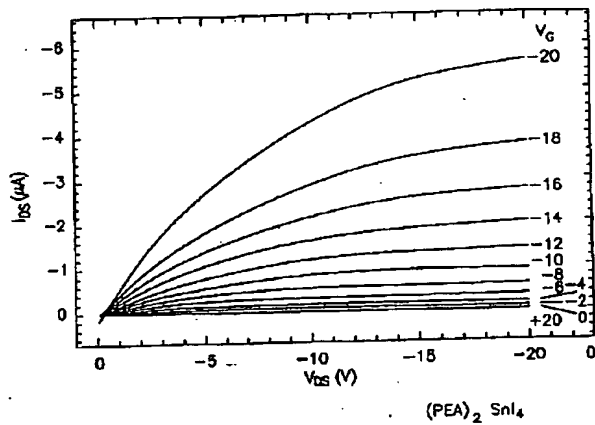
【図4】



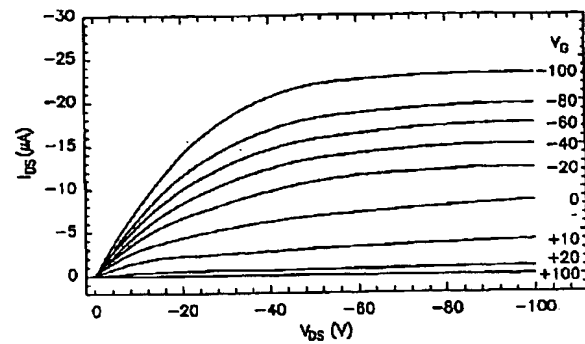
【図1】



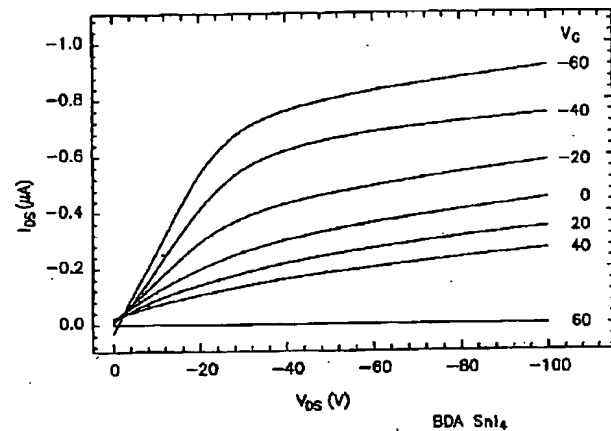
【図6】



【図5】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 コンスタンティノス・ホンドルディス
アメリカ合衆国10603 ニューヨーク州ノ
ース・ホワイト・プレーンズ ネザーモン
ト・アベニュー 113

(72)発明者 クリストス・ディー・デミトラコプロス
アメリカ合衆国10604 ニューヨーク州ウ
エスト・ハリソン レーク・ストリート・
イースト 791

(72)発明者 シェリー・アール・カガン
アメリカ合衆国10562 ニューヨーク州オ
シニング リンカーン・ドライブ 32

(72)発明者 ヨアンニス・キミシス
アメリカ合衆国11040 ニューヨーク州ニ
ュー・ハイド・パーク レーク・ドライブ
110

(72)発明者 デービット・ビー・ミツイ
アメリカ合衆国10514 ニューヨーク州チ
ャパクア スプリング・レーン 58